

УДК 519.876.5

## **ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ САПР ЦИФРОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

*А.В. Удалов, А.А. Веселов*

Сегодня современные объекты содержат до многих миллиардов компонентов, и это число постоянно растет. Сложность таких систем по отношению к числу их компонентов возрастает нелинейно, что делает невозможным применение традиционных (ручных) методов проектирования. Именно по этой причине растет спрос разработчиков различных систем на системы автоматизированной проектной разработки (САПР) и входящие в их состав подсистемы моделирования и анализа поведения.

Наиболее привлекательным функционалом САПР выглядит возможность замены реального объекта виртуальным макетом (моделью) и выполнение на нем исследования объекта в режиме непосредственного имитационного эксперимента или в режиме автоматического анализа поведения объекта.

Ядром САПР является модель реального объекта, построенная при помощи определенного математического аппарата. Очевидно, что особенности математического аппарата определяют свойства и функционал САПР, поэтому необходим выбор математического аппарата, для которого сохраняется приемлемый баланс моделирующей мощности и аналитических возможностей.

Обычно модели САПР строятся как монолитные структуры с единым управлением. Главными ее недостатками является полная потеря структуры моделируемого объекта, усложняющая ее последующую интерпретацию (взаимно однозначное соответствие между моделью и реальным объектом), а также ограничения на объем используемых ресурсов. Один из возможных путей преодоления этой проблемы заключается в переходе к распределенным моделям.

Распределенной называется такая модель, которая состоит из автономно функционирующих взаимодействующих компонентов и направленных на выполнение функциональных задач, стоящих перед системой в целом, что само по себе выглядит более адекватным представлением реальных систем. Основным отличием распределенной модели от монолитной является наличие автономных центров управления (компонентов).

Применение распределенных моделей позволит декомпозировать сложную систему на отдельные компоненты для проведения их анализа в отдельности, интерпретировать любой компонент в единой сложной системе в реальный компонент объекта, а также снизить требования к ресурсам (их объему и расположению) при моделировании всей системы.

Важным преимуществом распределенной модели является возможность использования иерархического и модульного подходов при построении распределенной модели. Таким образом, модель – дерево, вершины которого представляют собой компоненты распределенной модели, а каждая вершина более высокого уровня может содержать в себе одну или несколько вершин более низкого уровня и так далее до корня дерева, который включает в себя все компоненты распределенной модели.

Независимость компонентов друг от друга в распределенной модели позволяет адекватно моделировать явление параллелизма. Распределенная модель позволяет также распределить различные компоненты модели по различным территориально обособленным компонентам САПР, что позволяет вести командную проектную разработку, моделирование и анализ.

У распределенных моделей имеются недостатки. Например, управление такими моделями становится более трудным вследствие асинхронности взаимодействия между компонентами. Еще одним немаловажным недостатком является отсутствие средств

анализа таких моделей, а аналогичные средства для анализа монолитных систем, как правило, не могут быть применены.

Распределенные модели, как правило, используются в таких областях науки и техники, реальные объекты которых уже имеют монолитные модели или состоят из компонентов, для которых создание монолитных моделей уже было выполнено. Пока не разработано конкретных формализованных методов преобразования монолитной модели в распределенную, что усложняет задачу построения распределенной модели тем, что необходимо выполнять синтез такой модели заново. Отчасти сложность выполнения этой задачи можно снизить, применяя библиотечный подход к построению распределенной модели. Библиотечный подход к построению распределенной модели заключающийся в детализации реального объекта до некоторого элементного базиса, который представляет собой набор законченных функциональных компонентов (структурных примитивов), из которых может быть построен любой реальный объект. Такие структурные примитивы объединяются в библиотеки, становятся общедоступными любому разработчику (т.е. появляется стандартизация и унификация элементного базиса), однако каждый разработчик имеет возможность дополнять библиотеку новыми элементами.

Для организации взаимодействия между автономно функционирующими компонентами распределенной модели каждая из них должна быть организована соответствующим образом для того, чтобы иметь возможность взаимодействовать с другими компонентами. Вся модель также должна иметь определенную структуру (архитектуру).

Существуют следующие основные архитектуры распределенных моделей:

модель «клиент-сервер», состоит из двух типов компонентов – клиентов и серверов. Клиенты обращаются с запросами к серверам, серверы их обрабатывают и возвращают результаты обработки запросов. Таким образом, клиент запрашивает обработку определенной информации (или саму информацию), которая содержится на сервере. На сервере также содержится алгоритм обработки этой информации. Клиент может обращаться с запросами одновременно к нескольким серверам. Всю логику данной архитектуры можно представить в виде взаимодействия двух видов – запроса, отправляемого на сервер, и ответа, получаемого с сервера.

модель автономных компонентов (одноранговая модель);

Такая архитектура значительно отличается от архитектуры «клиент-сервер». Компоненты полностью автономны, каждый из них лишь принимает информацию от какого-либо количества источников (компоненту безразлично, от каких конкретно компонентов получена информация), а также отправляет информацию какому-либо одному или нескольким приемникам (компоненту безразлично, кому отправлять информацию). Количество и размещение компонентов в системе для каждого из них безразлично. Однако такая архитектура требует выполнения процедуры так называемой «подписки» компонентов до проведения каких-либо экспериментов на модели. «Подписка» компонентов заключается в чисто технической их связке, т.е. формального назначения источников и приемников.

Следует отметить не вполне адекватное соответствие логики работы реального объекта архитектуре модели «клиент-сервер» (компоненты реального объекта являются автономными, т.е. присутствует только асинхронное получение/отправка чего-либо из/в компоненты). Информация содержится полностью на сервере, поэтому архитектура «клиент-сервер» больше подходит для монолитных моделей. Одноранговая архитектура автономных модулей лишена этого недостатка, поэтому больше подходит для распределенных моделей.

Устройства цифровой электронной техники являются яркими примерами распределенных систем. Как правило, современные цифровые устройства строятся на базе интегральных микросхем малой (МИС), средней (СИС), большой (БИС) и сверхбольшой (СБИС) степеней интеграции. Каждая из таких микросхем может включать в себя один

или более функциональных элементов. Несмотря на достаточно большое количество (немногим более 100) различных видов современных функциональных устройств, количество компонентов их элементного базиса, из которого все они строятся, ограничено единицами. Таким образом, это базисные функциональные устройства, из которых могут быть построены практически любые функциональные элементы с комбинационной логикой функционирования и элементы с памятью для большинства современных интегральных микросхем малой и средней степени интеграции.

В свою очередь, каждую такую модель устройства элементного базиса в дальнейшем можно использовать для составления (синтеза) имитационных моделей более сложных базовых функциональных элементов, используемых для конструирования устройств цифровой автоматики и вычислительной техники произвольной сложности.

Таким образом, цифровое устройство в общем случае состоит из многих компонентов, автономно функционирующих (независимо друг от друга), обменивающихся сигналами (часто одновременно обмениваются сигналами совершенно разные пары компонентов), которые и приводят к их взаимодействию. Такая характерная особенность устройств цифровой электроники позволяет адекватно моделировать их при помощи распределенных моделей последней архитектуры.

Как уже было сказано выше, функционирование распределенной модели отличается от функционирования монолитной модели, т.к. необходимо обеспечить не просто взаимодействие модели внутри единой структуры, а взаимодействие отдельных, независимых элементов. Таким образом, работа распределенной модели, моделирующей, например, поведение цифрового электронного устройства, может строиться согласно следующему алгоритму.

Работа модели начинается с получения времени до ближайшего события каждого из компонентов модели. Затем наименьший из этих показателей выбирается за время до ближайшего события всей модели. В общем случае может быть много компонентов, внутри которых будут происходить квазипараллельные события, поэтому необходимо составить их список. С целью имитации случайного времени срабатывания транзисторных переходов (даже имеющих одинаковые характеристики), из списка выбирается случайным образом каждый следующий срабатывающий компонент. Таким образом, всем компонентам, внутри которых происходят события, передается команда на исполнение этих событий, а другим компонентам – на сдвиг на выбранный интервал. Затем процесс повторяется сначала. Такой алгоритм можно адаптировать под реальные объекты других предметных областей.

Как было показано на примере, распределенные модели лучше подходят для моделирования сложных и распределенных систем, позволяя повысить адекватность, удобство проектировщика, снизить требования к ресурсам и т.д. Недостатки распределенных моделей связаны, в основном, с тем, что эта область исследования еще достаточно новая, поэтому сравнительно мало теоретических основ для полноценного моделирования, а также примеров практической реализации таких моделей.

#### Библиографический список

1. Казаков, Ю.П. Распределенное имитационное моделирование на магистрально-модульных вычислительных системах / Ю.П. Казаков. М.: МГУ, 1992, 125 с.
2. Таненбаум, Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. СПб.: Издательство «Питер», 2003, 100 с.
3. Вознесенская, Т.В. Математическая модель для анализа производительности распределенных систем имитационного моделирования: «Искусственный интеллект» № 2 / Т.В. Вознесенская. М.: МГУ, 2002.